UNIVERSITÀ DI PISA
ISTITUTO DI PATOLOGIA VEGETALE
E DI MICROBIOLOGIA AGRARIA E TECNICA
OSSERVATORIO REGIONALE DI FITOPATOLOGIA

277

O. VERONA

I microelementi nella nutrizione dei vegetali

IX CONGRESSO INTERNAZIONALE INDUSTRIE AGRARIE
ROMA - 27 maggio - 1 giugno 1952

COMMONWEALTH MYCOLOGICAL INSTITUTE
17 DEC 1952

IX CONGRESSO INTERNAZIONALE INDUSTRIE AGRARIE

ROMA - 27 maggio - 1 giugno 1952 - ROMA

T. P. 1

Onorato VERONA. — I microelementi nella nutrizione dei vegetali.

RIASSUNTO

L'Autore richiama qualche nozione generale sull'ufficio esplicato dai microelementi nella nutrizione dei vegetali. Quindi passa in rassegna quanto di nuovo è stato acquisito sull'ufficio e l'impiego di alcuni microelementi con particolare riferimento al boro, zinco, rame, molibdeno, sodio.

Il Relatore termina il proprio Rapporto con considerazioni di indole pratica sottolineando le conseguenze di vario ordine legate a carenza di elementi micronutritivi.

RESUME

L'A. expose quelques idées d'ordre général sur le rôle des micro-éléments dans la nutrition des végétaux. Il passe ensuite en revue les nouvelles connaissances sur l'activité et l'emploi de certains micro-éléments en agriculture avec référence spéciale au bore, au zinc, au cuivre, au molybdène et au sodium.

Il termine son rapport par des considérations d'ordre pratique et illustre les différentes conséquences qui peuvent se produire lorsqu'il y a carence de micro-éléments dans la nutrition des végétaux.

SUMMARY

The author recalls some general facts about the role of micro-elements in plant nutrition. Thereafter, he passes in review knowledge our latest on the role and use of some micro-elements in agriculture, with special regard to boron, zink, copper, molybdenum, and sodium.

He concludes his paper with some practical considerations and emphasizes the various consequences which occur when there is a deficiency of micronutritional elements.

Quando, molti anni addietro, Gabriele Bértrand cercò di attirare l'attenzione dei Biologi sull'importanza di quegli elementi che oggi si vogliono chiamare *micronutritivi*, fu da ben pochi compreso e, da ben pochi, seguito. In termini più crudi, non gli fu dato ascolto.

Ma poi avvenne che in tutta l'Europa si manifestò, e in maniera assai grave, quella malattia della barbabietola da zucchero che si volle denominare « mal del cuore ». Il prof. Prillieux, in Francia, intese attribuirne la causa ad un fungo microscopico e precisamente al parassitismo di *Phoma betae;* altri, però, constatarono poco dopo che, indipendentemente dalla presenza del *Phoma* la malattia infieriva specialmente nei suoli alcalini; altri osservarono che si manifestava nei suoli fortemente calcitati. Forse, per un puro caso, si vide poi che la malattia non si manifestava affatto in quei terreni ove erano state aggiunte piccole quantità di boro. E' questo un caso noto da tempo.

Recente è invece la nozione dell'ufficio esplicato da piccolissime dosi di cobalto nel coprire bovini ed equini da una particolare forma di anemia.

Due esempi: uno lontano, uno vicino; uno scelto nell'ambito della fisiologia e della patologia vegetale, uno della fisiologia e della patologia animale.

Gabriele Bértrand aveva dunque ragione nell'attribuire importanza agli elementi reperibili nell'organismo animale e vegetale in piccole dosi.

Nell'avere subito ricordato Gabriele Bértrand Voi avrete capito, Signori, come io abbia inteso rendere omaggio a chi per primo, su basi rigorosamente scientifiche, ha costantemente e sistematicamente (direi anche ecletticamente) lavorato sui microlementi.

Ma dopo aver reso omaggio a così illustre e venerando Maestro, mi si consenta, riandando ancora più lontano nel tempo, di ricordare alla Vostra memoria le acute osservazioni di Gioacchino Carradori, vero pioniere nello studio delle azioni oligodinamiche. Carradori,

nel 1799, scriveva infatti (1) che « il manganese, come io ed altri abbiamo osservato, accelera la germinazione delle semenze... e porta vigore anche alla vegetazione delle piante ». D'altronde — e mi si perdoni l'inciso — anche nei riguardi di altri elementi la nostra sperimentazione non è stata seconda chè, le prime osservazioni sul boro — per citare un altro importante elemento — datano, con i lavori del Bechi e del Passerini, al 1890 e 1891 (2).

* * *

Oggi, gli studi comparsi sui microelementi, sono così numerosi che difficile è dominarli. Basti, per averne un'idea, avere presente per esempio la monumentale e ormai classica « Bibliography of Minor Elments », redatta da Willis e Coll. ed edita dalla Corporazione del Nitrato cileno (3).

Per cui oggi sappiamo, con sufficiente esattezza, quella che è la *distribuzione dei singoli numerosi elementi nel terreno*, in rapporto anche alla sua costituzione; come, con buona esattezza, sappiamo *in quali dosi essi sono contenuti nelle varie parti dell'organismo* animale e vegetale. Inoltre è scaturita, attraverso la ricerca, la *nozione della indispensabilità*, entro dosi per molti elementi ben precisati, della loro presenza. Finalmente sono stati descritti, nell'organismo animale e soprattuto vegetale, i sintomi più significativi delle *turbe che insorgono quando tali elementi siano in difetto o in eccesso*. Studi collaterali hanno anche esaminato *l'influenza che i microelementi esercitano sul grado di resistenza e di recettività* degli organismi verso le malattie di natura parassitaria.

Esiste solo una grave lacuna del resto giustificabile con la delica-

---

(1) Corradori G.: *Della fertilità della terra*. Firenze, Pagani 1799 (Memoria premiata dalla Reale Accademia dei Georgofili).

(2) Bechi E.: *Sur la présence de l'acide borique dans les végétaux*. Bul. Soc. Chim., *3*, 122 (1890).

— *Intorno alla diffusione dell'acido borico*. Atti R. Acc. dei Georgofili, Firenze, vol. *14*, 240 (1891).

Passerini N.: *Ricerche chimico-agricole sui ceci* (Cicer aretinum). *Presenza del boro, del litio e del rame nella pianta*. Staz. Sp. Agr. Ital., *21*, 20, (1891).

— *Ricerche sulla composizione del Giaggiolo* (Iris germanica); *presenza del boro, del litio e del rame nella pianta*. Id., *21*, 565, (1891).

(3) *Bibliography of the Literature on the minor elements and Their Relation to Plant and Animal Nutrition*. IV Ed. Chilean Nitrate Educational Bureau N. R. (1948). Presentazione di Helbert C. Brewer.

tezza dell'indagine: tale lacuna risiede nelle conoscenze relative l'*ufficio biologico* da ogni singolo elemento esercitato. Tanto che, la stessa nozione della indispensabilità dei microelementi è discesa, più che dall'esame del fatto fisiologico connesso alla loro presenza, dal fatto patologico conseguente la loro assenza.

Questo è anche un motivo, dirò pér inciso, per cui su essi elementi hanno portato e portano la loro attenzione oltre che i fisiologi, gli studiosi di Patologia Vegetale.

Intanto l'elenco dei microelementi indispensabili si arricchisce sempre più e se, qualche elemento, è ritenuto ancora, come suol dirsi, accessorio, si ha forte ragione di credere che tale presunzione dipenda dai perfettibili mezzi di ricerca e possa modificarsi col tempo. Accessori, infatti, erano ritenuti una volta anche molti elementi diversamente oggi riconosciuti indispensabili.

Ritornando a quello che può essere l'ufficio biologico esplicato dai micronutritivi rimangono comunque accertati i seguenti fatti:

la già asserita indispensabilità;

la caratteristica di essere richiesti in piccolissime dosi;

di manifestarsi tossici appena si oltrepassi la soglia ottimale;

di dare peraltro turbe notevoli, anatomiche e fisiologiche, per la loro assenza;

di rendere, se assenti, l'organismo meno resistente a molte malattie di natura parassitaria;

di agire in modo specifico, almeno per quel che sappiamo o ci è dato arguire.

Quest'ultima nozione, che trova sufficiente conforto nella constatazione delle diverse reazioni sintomatologiche che accompagnano molte turbe da carenza, esclude che i microelementi esercitino, come taluno ha affermato, un'azione globale, a meno che non s'intenda, per azione globale, il fatto relativo alla partecipazione ai processi ossido-riduttivi e alla partecipazione ai processi auxinici o enzimatici (4). Comunque, se un'azione globale esiste, essa si affianca, nel caso, ad azioni di natura specifica. Il fatto, ad es., che molti elementi potenzino l'energetica della fotosintesi non esclude che essi partecipino, come in realtà partecipano, ad altri processi. In questi intervenendo, essi poi varia-

---

(4) Warburg O.: *Schwermetalle als Wirkungsgruppen von ferment.* Ed. Springer Berlino (1948).

mente interferiscono tra loro — per il che il problema ancora più si complica — con azioni di antagonismo od anche di sinergismo. Sono note le azioni di antagonismo tra le coppie Fe - Mn, B - Ca, Zn - Mg, ecc., azioni molto importanti giacchè per esse si può determinare lo stato di carenza anche se un elemento è presente; come sono note, per gli studi di Quartaroli, che al riguardo ha anche formulato una teoria della coattivazione reciproca, azioni di sinergismo.

* * *

Ma, più che soffermarsi sui fatti di ordine generale di ardua definizione, sarà opportuno prospettare quanto di più recente è stato acquisito intorno agli elementi di più attuale interesse, limitandoci, per la ristrettezza dello spazio, al boro, zinco, rame, molibdeno e sodio.

BORO

Molti aspetti del metabolismo del boro nel terreno sono ancora da chiarire. Ma intanto riveste notevole importanza avere meglio osservato come il boro, nel terreno, esista sia allo stato solubile e assimilabile che in forma insolubile. E poichè le ricerche conseguenti hanno precisato che il boro solubile non è che una frazione assai esigua del boro totale presente, è stato possibile dare ragione dello insorgere, nelle piante, dei sintomi di boro-carenza anche là dove anteriori analisi davano il terreno sufficientemente provvisto di boro.

Fattori di solubilizzazione o di insolubilizzazione del boro nel terreno sono certo diversi. Epperò, è stato invocato lo stato colloidale (sia che si tratti di colloidi organici che minerali); quindi lo stesso contenuto in sostanza organica essendosi osservato che il boro, legato alla sostanza organica, è quello che possiede una solubilità più pronta; quindi ancora è stato invocato il pH con riferimento alla reazione alcalina e, finalmente, il contenuto in calcio. Per quest'ultimo ricorderò come la sperimentazione, ormai ricca di dati, ci informi come là dove è in uso la pratica della calcitazione si abbia una indubbia immobilizzazione del boro; tanto che, tale constatazione, ha suggerito per contro di utilizzare i sali di calcio quando si abbiano a temere effetti dannosi per un eccesso di boro. Solo che è stato posto il problema: sono gli ioni Ca, in quanto tali, ad immobilizzare il boro o non piuttosto gli ioni OH che vengono resi liberi a seguito della cal-

citazione? (5) E in questo caso, si ha realmente una immobilizzazione del boro o non piuttosto il terreno appare boro-carente solo perchè si ha una maggiore richiesta di boro necessario, si dice, a neutralizzare gli sfavorevoli effetti degli ossidrilioni? L'antagonismo qui risiederebbe tra l'azione idratante degli ioni OH e l'azione disidratante del boro; il quale ristabilirebbe l'equilibrio idrico ed osmotico dei tessuti che, idratati, non solo non si accrescono ma — per eventuali insorgenti lesioni — più facilmente vanno incontro a processi di decomposizione microbica. Questi possibili rapporti tra boro e stato di idratazione dei tessuti sarebbero ilustrati, tra l'altro, da una esperienza di Schmucker (6): granelli di polline, fortemente idratati, germinano in una soluzione nutritiva, dando tubi germinativi che si rompono in assenza di boro, mentre rimangono intatti qualora il boro sia presente. Che il calcio agisca, quindi, non direttamente, ma in funzione degli ioni OH che si liberano quando i suoi sali sono aggiunti al terreno, e che il boro sia richiesto in quantità maggiori per neutralizzare gli sfavorevoli effetti degli OH, è l'idea che maggiormente si fa strada e che spiegherebbe, tra l'altro, gli effetti negativi delle supercalcitazioni (7). Tutto ciò, comunque, lascia intatto l'aspetto pratico della questione e rimane fermo il fatto di aversi una minore o assente disponibilità di boro là dove esiste un forte quantitativo di calcio o comunque si proceda a laute calcitazioni.

Con i ricordati fattori di solubilizzazione e insolubilizzazione altre cause interferiscono e tra queste è recente da parte di Malquori e Coll. (8) la conferma ad una precedente osservazione di Parks (*Soil*

---

(5) Ioni OH verrebbero liberati secondo il meccanismo seguente:

$$\text{terreno} \left\{ \begin{matrix} H \\ H \end{matrix} \right. + 2Ca\,CO_3 = \text{terreno}\ Ca + Ca(HCO_3)_2$$

$$Ca(H\,CO_3)_2 + 2\,H_2O = Ca\left\langle \begin{matrix} OH \\ OH \end{matrix} \right. + 2\,H_2CO_3$$

(6) SCHMUCKER T.: *Bor als biologisch entscheidendes Element.* Naturwissenschaften, *20,* 839 (1932).

— *Ueber den Einfluss von Borsäure suf Pflanzen, insbesondere Heimunde Pollenkörner.* Planta, *23,* 264 (1935).

(7) TRUNINGER E.: *Borgehalt des Mergels als Ursache der verschiedenen Dungwirkung von gemahlenem Kalkstein und Mergel.* Landw. Jahrbuch der Schweiz, *54,* 689 (1940).

— *Versuche und Untersuchungen über die Wirkungen des Bors als Spurenelement.* Idem (estratto) 1944.

(8) MALQUORI A., STRADAIOLI G., PERICI E.: *Boro assimilabile e terreno agrario.* Annali Sperim. Agraria, N. S. (1952).

E' interessante ricordare come nel presente lavoro si riportino, tra l'altro, i

Sci., *57*, 405, 1944) che cioè molto influisce sul dinamismo del boro lo stato idrico del terreno o, meglio, l'alternarsi di periodi umidi con periodi siccitosi. Dalle esperienze di Malquori è emerso che «dopo aver subito perdite di dilavamento, il boro presente nel terreno è capace di tornare solubile in seguito ad essiccamento» riscontrandosi più attivo a questo riguardo il boro sotto forma organica. Ciò significa che l'alternarsi delle stagioni freddo-umide e caldo-asciutte, contribuisce in una certa misura a mantenere il boro, nel terreno, ad un livello agronomicamente utile.

Se il metabolismo del boro, nel terreno, offre ancora dei punti oscuri e controversi, non meno oscure permangono le funzioni che tale elemento esplica nella pianta.

Un sol fatto è certo — come le belle esperienze di Warington (9) hanno messo in luce — e che cioè il boro appare indispensabile alla formazione dei meristemi e che si rinviene di preferenza — come altri hanno anche dimostrato — nei tessuti giovani a forte attività metabolica. In questa funzione il boro non sembra possa essere sostituito per Mc Vicar e Tottingham (10) dall'acido β-indolacetico (noto fattore di crescita) come alcune ricerche di Eaton (11) avevano lasciato supporre.

Se un altro fatto è certo è che il boro non solo si accumula e in-

---

risultati di numerose analisi relative alla presenza del boro nei terreni italiani. E' emerso come nei terreni italiani il boro sia diversamente distribuito avendosi tra i più provvisti i terreni del Nord e, tra i meno provvisti, i terreni del Sud. Precisamente:

B in p. p m.	H_3BO_3 Kg/Ha	Nord (Piemonte, Lomb., Veneto, Emil.)	Centro (Toscana, Umbria, Marche, Abruzzi, Lazio)	Sud (Campania, Puglia, Lucania, Calabria, Sicilia e Sardegna)
da 0 a 0,1	0–2	11	31,6	40,9
da 0,1 a 0,5	2–8	79	60,4	54,5
> 0,5	> 8	10	8	4,6
		% su 124 camp.	% su 180 camp.	% su 66 camp.

(9) Warington K.: *The changes induced in the anatomical structure of Vicia faba L. by the absence of boron from the nutrient solution.* Ann. Bot., *40*, 27 (1926).

(10) Mc. Vicar R. e Tottinghan W. E.: *Plant Physiology*, *22*, 598 (1947).

(11) Eaton F.M.: *Interrelations in the effects of boron and indolacetic acid on plant growth.* Bot. Gaz., *101*, 700 (1940).

teressa i meristemi, sia primari che secondari — come, d'altronde, le vie floematiche — ma anche si rinviene in quantità maggiori, rispetto agli altri organi, nei fiori (Schmucker, Verda, Bobko e altri, Bértrand) e, in particolar modo, nei tessuti sporogeni — come dimostrano le interessanti indagini di Maria Löhnis (12) — il che può spiegare — per inciso — la mancata fioritura o fruttificazione in piante boro-carenti (13).

Quello che, peraltro, non è noto, è in quale forma si rinvenga l'elemento anche se si pensa fortemente probabile il formarsi di combinazioni organo-metalliche sapendo come il boro si unisca facilmente con gli zuccheri mentre sono note le sue combinazioni complesse con gli alcool polivalenti. Del resto neppure sono da escludersi altre combinazioni come lasciano pensare i più recenti studi sul borazolo.

Ma quale sia, tuttavia, l'intimo significato della presenza del boro nei tessuti vegetali, non sappiamo di preciso. L'antica definizione che faceva del boro, come degli altri elementi, dei fattori « stimolanti » la vegetazione, mi pare che nulla dica o, senza meno, è una definizione che ci lascia insoddisfatti giacchè non chiarisce che cosa, di concreto, risieda alla base di tale processo stimolante che rimane troppo vagamente indicato.

Ad ogni modo sembra fortemente probabile che il boro intervenga nel metabolismo dei protidi e, per ricerche più recenti, nel metabolismo dei carboidrati, pectina inclusa ,ed anche dei grassi (14).

Inoltre sembra quasi certo che intercorrano rapporti tra boro ed attività degli enzimi ossidanti. Per es. Mc Vicar e Burris (15) hanno notato un rimarchevole incremento della attività polifenossidasica in tessuti di piante boro-carenti; ed anche Reed osserva (16) come, in questi tessuti, il livello della attività ossidasica sia notevolmente più alto che nei tessuti normali. Le deduzioni di Reed poggiano sul

---

(12) Lohnis M.P.: *Histology of boron deficiency in Plants.* Mededeelingen van de Landbouwhoogeschool te Wageningen (1940).

(13) per es. Johnston E.S. e Fischer P.L.: *The essential nature of boron to the growth and fruiting of the tomato.* Plant Physiol. . 5, 387 (1930).
e anche più recentemente:

— Pratolongo U.: *Il contributo italiano alla sperimentazione in campo sugli elementi minori.* Atti II Congr. Mondial d. Engrais chimiques, Rome (1951).

(14) Shive J.W.: *Significant rôles of trace elements in the nutrition of plants.* Plant Physiol., *16*, 435 (1941).

(15) Mc. Vicar e Burris R.H.: *Arch. Biochem.*, *17*, 31 (1948).

(16) Reed H.S.: *Hilgardia*, *17*, 377 (1947).

fatto che nelle cellule dei tessuti boro-carenti si rinvengono, costantemente, precipitati fenolici e anche melaninici; questa abbondante presenza di materiale fenolico è conseguenza, per Reed, della inattivazione della idrogenasi e quindi della ossidazione irreversibile dei composti fenolici.

E' ammesso poi che intercorrano rapporti anche tra boro ed elementi minerali tra i quali, e soprattutto, il calcio. Interessanti, a questo riguardo, alcune ricerche di Shive che ha dosato le quantità di boro e di calcio solubili, in rapporto alle rispettive quantità totali, in una pianta monocotiledone (mais) ed in una dicotiledone (fava) fatte sviluppare in mezzo contenente quantità deficienti, ottime e tossiche di boro. A parte il fatto, non prima d'ora emerso, che il calcio come il boro solubile si rinvengono molto più abbondanti nella monocotiledone che nella dicotiledone, è stato visto che v'è perfetta correlazione, in ogni caso, tra boro e calcio solubile mentre nessuna almeno apparente correlazione è stata osservata tra boro e calcio totale. Tanto che sorge conseguente l'idea che il boro regoli la traslocazione del calcio dai punti di maggiore riserva ai centri di più attivo metabolismo.

A dogni modo che l'attività del boro si inserisca nella generale attività metabolica della pianta non c'è dubbio; e, a parte ogni possibile specifica funzione esercitata, di ciò si ha indiretta prova nella più antica constatazione di Warington (17) di recente ribadita da Struckmeyer (18) che il boro, in rapporto al fotoperiodismo, risulta maggiormente richiesto dalle piante a giorno lungo che non delle piante a giorno corto: dalle piante, cioè, a più lungo periodo assimilatorio.

Ma se da una parte non pochi fatti rimangono a chiarire circa l'ufficio esplicato dal boro nel metabolismo della pianta, dall'altra molte conoscenze sono state acquisite intorno ai risultati agronomici conseguenti il suo impiego nella fertilizzazione del suolo, specie in rapporto a determinate colture e ai quadri patologici che insorgono allorquando esso manchi o si trovi in difetto. Qui si ha veramente

---

(17) Warington K.: *The influence of length of day on the response of plants to Boron.* Ann. of Bot., *47*, 429 (1933).

(18) Struckmeyer B.E. e Mc Vicar R.: *Further investigation on the relations of photoperiod to the boron requirement of plants.* Botan. Gaz., *109*, 237 (1948).

una massa enorme di dati (19), dati che si vanno sempre più facendo numerosi per il conseguente estendersi, nell'ambito della patologia, delle indagini e delle segnalazioni casistiche.

ZINCO

Un altro elemento che va acquistando sempre maggiore interesse è lo zinco costantemente rinvenuto nelle ceneri dei vegetali. Anzi, le ormai numerose analisi avvertono che, come il boro, lo zinco si rinviene di preferenza nei tessuti meristematici e quindi nei tessuti embrionali, nei semi, nei frutti.

Quale il suo ufficio biologico? Probabilmente, anche qui, si tratta non di una azione, ma di più azioni, tutte ugualmente delicate e complesse.

Intanto una soddisfacente spiegazione sembra essere data, oggi, alle azioni di stimolo che i sali di zinco manifestano sulla germinazione dei semi e il primo sviluppo delle piante. Infatti risulta provato che lo zinco interviene nella formazione delle auxine come dimostrano le prime esperienze di Skoog (20) recentemente riprese da Tsui (21). E' vero che Tsui ammette che questo intervento sia indiretto e solo in quanto lo zinco si dimostra indispensabile alla sintesi del triptofano (22) a sua volta precursore dell'acido indolacetico da cui deriverebbero le auxine; ma è anche vero che questo intervento, diretto o indiretto, rimane comunque provato. D'altronde non è da escludersi che il metabolismo auxinico possa risultare minorato anche per altre circostanze e precisamente per la possibile lisi delle auxine a seguito di una maggiore attività, nelle piante Zn-carenti, delle perossidasi. Infatti è provato, per ricerche citologiche di Reed e Dufrenoy (23), come in cellule di tessuti zinco-carenti si abbiano forti accu-

---

(19) Si veda a questo riguardo, ancorchè si tratti di lavori non più recenti:
— Dennis R.W.G. e O' Brien M.A.: *Boron in Agricudture*. The West of Scotland Agr. Coll. Plant Husbandry Dept., Res Bull. n. 5 (1937).
— Dennis A.C. e Dennis R.W.G.: *Boron in Plant life*. The fert. felding stuffs and form. Supplies Journal. (1939).

(20) Skoog F.: *Relationship betwen zinc and auxin in the growth of Righer plants*. Ann. Journ. Botany, 27, 939 (1940).

(21) Tsui C.: *The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant*. Ann. Journ. Botany, 35, 172 (1948).

(22) Wildman S.G., Ferri M.G. e Rommer J.: Arch. Biochem., 13, 131 (1947).

(23) Reed H.S. e Dufrenoy J.: *Catechol aggregates in the vacuoles of cells of zinc deficient plants*. Am. Journ. of Bot., 29, 544 (1942).

muli di composti fenolici, indice — come si è visto per il boro giacchè il fatto non è specifico — di esaltati processi ossidativi.

Ma tutto ciò non dà completa ragione dei sintomi che si osservano nelle piante carenti di zinco. Epperò sono ancora invocati, e in parte dimostrati, altri fatti tra i quali, importante, che lo zinco sia indispensabile alla proteinogenesi e relativa traslocazione delle proteine (24) come alla sintesi dell'amido; il che lascia pensare possibile che lo zinco intervenga in forma essenziale in qualche sistema enzimatico (25). Il fatto, per es., che Keilin e Mann (26) abbiano isolato dai globuli rossi del sangue un sistema Zn-proteico capace di catalizzare la reazione reversibile $H_2CO_3 \rightleftarrows CO_2 + H_2O$ suggerisce l'idea che un sistema analogo sia presente nelle piante e che intervenga nei processi fotosintetici e respiratori. D'altronde, a proposito del processo clorofilliano, si è affacciata l'idea (Quartaroli) che lo zinco costituisca fattore coattivo del magnesio nella sintesi clorofilliana dato che rapporti esistono tra i due elementi (27), come esistono rapporti — ma in questo caso antagonisti — tra zinco e ferro e manganese.

Finalmente non è a tacere come in rapporto a questi fatti, e probabilmente ad altri non noti, lo zinco si dimostri diversamente richiesto dalla pianta in rapporto a fattori climatici. Riferisce infatti Hoagland che le necessità in zinco appaiono molto più elevate durante le stagioni estive, allorquando cioè si hanno alte temperature e sopratutto giorni a lunga luminosità. L'influenza della luce è dimostrata anche dal fatto che, in piante Zn-carenti, i tessuti maggiormente lesi sono i tessuti maggiormente esposti alla luce.

Esiste dunque, come si è visto per il boro, una maggiore esigenza dell'elemento in piante a giorno lungo; il che vuol dire in piante a più lungo periodo assimilatorio.

Consegue allora che una deficienza di zinco — senza qui entrare

---

(24) Stout P.R. e Arnon D.I.: *Experimental methods for the study of the role of copper, manganese and zinc in the nutrition of higher plants.* Am. Journ of Bot., *26*, 144 (1939).

(25) Hoagland D.R.: *Lectures on the inorganic nutrition of plants.* Ed. Waltham Mass. U.S.A., (1948).

(26) Keilin D. e Mann T.: *Carbonic anhydrase.* Nature, *144*, 442 (1939).

(27) Tale questione è peraltro molto complessa; giacchè nello studio di tali rapporti interferisce il calcio che agisce da tampone ne riguardi del Mg. Ora, in quale misura il rapporto Ca/Mg possa interessare il rapporto Mg/Zn ancora non sappiamo.

in dettagli descrittivi neppure per i casi più significativi — si manifesta con turbe notevoli che la casistica informa essere piuttosto frequenti.

RAME

Aspetti biologicamente interessanti presenta, tra i microelementi, il rame.

Come per il boro e lo zinco dò acquisita la nozione della sua più o meno generale presenza nel terreno appena ricordando che il terreno presenta, per i sali solubili di rame, notevole potere assorbente. Dò anche come acquisita la nozione della sua generale presenza nelle piante, conforme indicano numerosi dati, non ultimi quelli del nostro Quartaroli (28).

Viceversa ritengo sia meritevole di soffermarsi, anche per questo elemento, sopra il suo possibile ufficio biologico.

E' ammesso che il rame manifesti azioni catalitiche simili a quelle esercitate dal manganese. Ciò, in vitro, ha avuto ampia dimostrazione; e non solo in vitro, giacchè alcuni processi microbici a base ossidativa quale la trasformazione dell'alcole etilico ad acido acetico per opera di acetobatteri (29), la formazione di pigmenti in colture di azotobatteri, la trasformazione, pure microbica, dei composti manganosi in manganici, risultano accelerati dalla presenza del rame. Nelle piante, tale funzione catalitica dei processi ossidativi si crede che interessi sopratutto — e in parallelo con l'azione del manganese — il metabolismo del ferro. C'è infatti chi fa, del ferro-rame-manganese, un'unica entità fisiologica. Sembra quindi che il rame catalizzi l'ossidazione del Fe^{00} (che è considerato il ferro attivo) a Fe^{000} con la differenza, rispetto al manganese, che mentre questo insolubilizza il ferro nel succo vacuolare e lungo i vasi xilematici, il rame lo insolubilizza in sede protoplasmatica (30). Il rame, come il manganese, interverrebbe

---

(28) Quartaroli A.: *Sul rame come elemento necessario alle piante.* Ann. di Chim. Appl., *19*, 467 (1929).

— *Il binomio ferro-rame in chimica e in biologia.* idem. *22*, 517 (1932).

(29) Mulder E.G.: *Importance of copper and molybdenum in the nutrition of higher plants and microrganism*, in « *Trace elements in Plants Physiology* », Watham, Mass. U.S.A. (1950).

(30) Delf E.M.: *Translocation of copper in plants.* Nature. *157*, 666 (1946).

— Erkama J.: *On the effect of copper and manganese on the iron status of higher plants*, in « *Trace elements in Plants Physiology* ». Watham Mass., U.S.A., (1950).

quindi nei processi ossido-riduttivi interessanti, in particolare, il movimento del ferro.

Ma può darsi che il rame eserciti un qualche importante ufficio anche nel processo clorofilliano. Infatti, mentre in assenza di rame le piante assumono aspetto clorotico, dall'altra è risaputo come in conseguenza dei trattamenti rameici eseguiti a scopo terapeutico, le piante assumono un colore verde più intenso. D'altronde, c'è pure chi ha affermato che il rame si trovi associato al ferro nella formazione della clorofilla come lo è nella formazione dell'emoglobina (31); d'altra parte ancora si è visto — se pur tale constatazione non sia stata finora giustamente valutata — che il rame è capace di sostituirsi al magnesio nel nucleo tetrapirrolmagnesiaco che è quello fondamentale della clorofilla.

Finalmente occorre dire che mentre è controversa l'influenza del rame sul metabolismo proteico, ammessa da Bandisch, esclusa da Lucas, è provato da parte di questi la favorevole influenza del rame sul contenuto in carotene ed in acido ascorbico in molte piante (32).

Ad ogni modo è indiscutibile il favorevole intervento del rame, nei suoli acidi ed umosi, contro quella malattia dei cereali (33) designata in America Yellow tip disease o Reclamation disease e in Francia Maladie du defrichement e così comune in Olanda, Danimarca. Francia, Germania e anche America, tanto che l'aggiunta di Kg. 50-60 ad Ha di solfato di rame è divenuta in quei Paesi e in quelle condizioni di suolo una pratica normativa; come è indiscutibile l'insorgenza di altre turbe in piante diverse quale ad es., per citarne solo una, l'exantema di molte piante da frutto, agrumi inclusi (34).

MOLIBDENO

La nozione della indispensabilità, almeno per molte piante, del molibdeno è relativamente recente e muove da alcune osservazioni

---

(31) Orth O.C., Wickwire G.C. e Burge W.E.: *Copper in relation to chlorophyll and hemoglobin formation.* Science, *79*, *34*, 1934.

(32) Lucas R.E.: *Effect of copper fertilization on carotene, acorbic acid, protein and copper contents of plants grown on organic soil.* Soil Sci. *55*, *461*, 1948.

(33) Hudig J.: In Zeitschrift f. Pflanzenern und Dungung, *8*, 14 (1926).

(34) Negli agrumi tale malattia è stata descritta già nel 1875 da Fowler:

— Fowler J.H.: *On the dieback in Orange trees.* Fla. Fmit. Growers' Ass. Proc. 1875.

di Bortels che trovò il molibdeno particolarmente attivo sulla fissazione biologica dell'azoto (35).

Presente in molte piccole quantità nel terreno è stato quindi trovato anche presente in un grande numero di piante, massime in Leguminose e in Crucifere (36), accumulandosi comunque, conforme indicano recenti esperienze effettuate con Mo_{93} e Mo_{99}, nei tessuti fogliari più ricchi di stomi (37).

Circa l'ufficio esplicato dal molibdeno è noto, per intanto, come esso sia indispensabile alla riduzione biologica dei nitrati tanto che, in suo difetto, si riscontra nei tessuti un forte accumulo di azoto nitrico ed una molto scarsa formazione di proteine (38).

Già questa funzione sarebbe sufficiente, di per sè, a dare ragione della indispensabilità dell'elemento quale d'altronde, in precedenza, fu affermata da Arnon e Stout (39) e da altri (40). Nelle Leguminose, poi, il molibdeno acquista particolare significato intervenendo oltre che nel metabolismo della pianta anche nel processo di nodulazione e nella conseguente fissazione biologica dell'azoto.

Ma è fortemente probabile che il molibdeno interessi anche altri processi per assumere interazioni con altri elementi. Almeno nel terreno è stata scoperta, infatti, l'esistenza di una correlazione stretta

---

(35) Bortels J.K.: *Molybdän als Katalysator bei der biologischen Stickstoffbindung*. Arch. Mikrob., *1*, 333 (1930).

— *Weitere Untersuchungen über die Bedeutung von Molybdän, Vanadium, Wolfram und anderen Erdaschenstoffen für stickstoffbindende und andere Mikstoffbindende und andere Mikro-organismen*. Zentr. f. Bakt., II Abt., *95*, 193 (1936).

— *Ueber die Wirkung von Agar sowie Eisen, Molibdän, Mangan und anderen Spurenelementen in Stickstoffreier Nährlösung auf Azotobacter*. Zentr. f. Bakt., II Abt., *100*, 373 (1939).

(36) Bertrand G.: *La diffusion du molybdéne dans les plantes*. C.R. Ac. Sci., 208 (1938).

— *Importance du molybdéne comme oligoélément por les Légumineuses*. C.R.Acc. Sci., *211*, 512 (1940).

(37) Stout P.R. et Meagher W.R.: *Studies of the Molybdenum Nutrition of Plants with radioactive Molybdenum*. Science, *108*, 471 (1948).

(38) Hewitt E.J. e Jones E.W.: Journ. Pomol. Hort. Sci., *23*, 254 (1947).

Mulder E.G.: *Importance of Molybdenum in the nitrogen metabolism of microrganism and higher plants*. Plant and Soil, *1*, 94 (1948).

(39) Arnon D.I. e Stout P.R.: *Molybdenum as an Essential Element for Higher Plants*. Plant Physiol, *14*, 599 (1939).

(40) Piper C.S.: *Molybdenum as an essential element for plant growth*. Sci., *6*, (1940).

tra elemento e fosfati e solfati (41). E' stato visto cioè che la presenza di fosforo aumenta sensibilmente l'assorbimento del molibdeno, assorbimento che diminuisce, invece, per presenza di solfati. La natura di tali correlazioni è tale, anzi, che la carenza di fosforo porta con sè, conseguentemente, la carenza di molibdeno.

Determinandosi la quale le Leguminose in primo piano, quindi altre piante, vanno incontro ad apprezzabili disturbi con caduta delle rese di produzione come la casistica incomincia ad informarci, quando addirittura non insorgono tipiche malattie come il Whiptail nel cavolfiore (42) e il Lower leaf scorch nel lino (43).

SODIO

La questione del sodio è stata posta tardivamente perchè era per tradizione accettata l'idea che il sodio interessasse esclusivamente o quasi gli animali, trovando le piante il rispettivo equivalente nel potassio.

Però, ricerche di Bértrand (44), avevano messo in evidenza che le piante contengono costantemente sodio e che esso, anzi, è contenuto in quantità diversa a seconda delle diverse piante e in diversi rapporti con il potassio. Molto più tardi vennero ancora le ricerche di Wallace e coll (45), i quali, pur senza fare alcun cenno ai lavori di Bértrand, dosarono il sodio in numerosi vegetali sia spontanei che coltivati. Il sodio si può dunque ritenere costantemente presente nelle piante (46).

Ma prima di dire due parole sopra il valore fisiologico del sodio

---

(41) Stout P.R., Meagher W.R., Pearson G.A. e Johnson C.M.: *Molybdendum nutrition of crop plant I. The influence of phosphate and sulfate on the absorption of molybdenum from soils and solution cultures.* Plant and Soil, *3*, 51 (1951).

(42) Waring E.J., Shirlow N.S., Wilson R.D.: *Molybdenum in relation to whiptail of cauliflower.* Journ. Austr. Inst. Agr. Sci., *13* (1947).

(43) Millikan C.R.: *Antagonism between molybdenum and certain heavy metals in plant nutrition.* Nature, 1948.

(44) Bértrand G. e Perietzeanu J.: *Sur la présence du sodium chez les plantes.* Bull. Soc. Ch. de France, *41*, 709 (1927).

— Bértrand G.: *Sur les proportions relatives de potassium et de sodium chez les plantes.* idem. *41*, 1378 (1927).

— Bértrand G. e Rosemblatt M.: *Sur la présence général du sodium chez les plantes.* idem. *43*, 368 (1928).

(45) Wallace A., Tooh S.J. e Bear F.E.: Soil Sci., 65, (1948).

(46) In realtà in pochi rari casi il sodio non fu trovato da Wallace e Coll. Ma il fatto è stato di recente contestato da Bértrand.

conviene, per questo elemento, accennare come esso già assuma importanza in sede pedologica. Infatti, venendo di norma somministrato sotto forma di nitrato, cioè di sale fisiologicamente alcalino, esso contribuisce a bilanciare gli effetti dei concimi fisiologicamente acidi e a mantenere il pH del terreno ad un livello normale là dove si abbia, come si verifica in molti terreni, tendenza alla acidificazione. Altro rimarchevole effetto è quello di mobilizzare, sempre nel terreno, il fosforo e inoltre facilitare l'assorbimento del magnesio (47).

Nei riguardi di come il sodio si comporta nella pianta sappiamo che, quando esso viene somministrato sotto forma di nitrato dà, in comparazione col nitrato di ammonio e il nitrato di calcio, risultati evidentemente migliori. Come si possono ragionevolmente spiegare questi migliori risultati agronomici? Ebbene, un motivo accertato è quello che il sodio sostituisca nelle sue funzioni, sia pure molto limitatamente, il potassio. Coltivando piante in mezzo K-carente si osserva infatti che i sintomi caratteristici della K-carenza non si manifestano quando si aggiunge al mezzo come sorgente azotata nitrato di sodio mentre più o meno evidenti appaiono, tali sintomi, quando al nitrato di sodio si sostituisca il nitrato di calcio. Conseguentemente, per nostre esperienze, sembra si abbia una maggiore formazione di tessuti di sostegno a ciò contribuendo, d'altronde, anche una più facilitata mobilizzazione del fosforo. Un altro fatto evidente, anche da noi più volte osservato, è la più intensa colorazione che assumono le piante cui viene somministrato sodio, indice, ciò, di un maggior contenuto in clorofilla; fatto questo, verosimilmente, da mettersi in rapporto più che ad un'azione diretta sul processo fotosintetico, al facilitato assorbimento del magnesio, noto componente dei pigmenti clorofilliani. Questa circostanza potrebbe, anzi, dare di per sè ragione dei fatti agronomici osservati giacchè ad un maggiore contenuto in clorofilla fa ovviamente riscontro una maggiore attività assimilatoria, cioè costruttiva. Ma, nel giudizio di Bértrand (48), c'è ancora un'altra

---

(47) Della già vasta letteratura sul sodio si veda:

Lehr J.J.: *The importance of sodium for plant nutrition*. Soil. Sci., *52*, 237, 373 (1941); *53*, 399 (1942); *63*, 479 (1947).

Trong E.: *The essentiality of sodium as a Plant Nutrient*. In: Sodium in Agriculture, Raccolta di lavori relativi al sodio pubblicati in Farm for Victory e Victory Farm Forum, (1943-50); a cura del Chilean Nitrate Education Bureau, Inc., New York.

Hopking D.P.: *Sodium as a Plant Nutrient*. World Crops, *2*, 8 (1950).

(48) Bértrand G.: *Sur la présence générale et sur le rôle probable du sodium dans les plantes*. C.R.Acc. des Sci., *232*, 1381 (1951).

funzione che potrebbe esplicare il sodio. Per Bértrand è possibile, cioè, che il sodio contribuisca al mantenimento della pressione osmotica dei succhi cellulari e quindi a dare turgescenza ai tessuti. Lo scrivente non esclude che si determini anche una maggiore concentrazione di sali disciolti nel succo cellulare il che porterebbe, tra l'altro, ad un abbassamento del punto di congelamento dello stesso succo imprimendo quindi alle piante maggiore resistenza al freddo.

Benchè al momento non siano noti casi manifesti di sodio-carenza anche il sodio, dunque, rappresenta un elemento, nell'ambito dei micronutritivi, di grande interesse.

* * *

L'essermi soffermato sopra gli aspetti, forse più scientifici, interessanti qualche elemento micronutritivo, non mi dispensa di richiamare i conseguenti aspetti pratici della questione; aspetti che trovano la loro base di discussione in fatti di ordine agronomico e di ordine patologico, comunque di interesse economico.

Agronomicamente una ormai larga sperimentazione denuncia come, la presenza di giuste quantità di microelementi, porti ad incrementi talvolta assai sensibili della produzione. Vi saranno piante più sensibili, piante meno sensibili; piante più esigenti di uno o piuttosto di un altro elemento; ma certo è che gli oligodinamici influiscono, sempre, in senso favorevole.

Dal punto di vista patologico una non meno larga sperimentazione ha anche ben definito come l'assenza da una parte e più frequentemente, o l'eccesso dall'altra, di certi elementi, determini imponenti quadri morbosi con riduzione e a volte caduta del prodotto.

Esiste allora un problema pratico dei microelementi, problema che si è fatto sempre più attuale quanto più, con l'estendersi della motorizzazione è venuta a limitarsi la produzione e l'impiego dei letami e, con il diffondersi dei fertilizzanti sintetici e concentrati, è venuto a contenersi l'uso dei concimi minerali naturali. Queste, per lo addietro, rappresentavano importanti fonti di approvvigionamento per le piante in microelementi giacchè microelementi sono contenuti nei concimi organici come nei diversi concimi minerali che si rinvengono in Natura.

Esiste dunque un problema pratico dei microelementi e mi si consenta di dire che questo problema fu già da me posto, in Italia, fin dal 1939 (49). Avvertivo, allora, se non era il caso di procedere —

(49) Verona O.: *Integrazione in "piccoli elementi" dei concimi sintetici e concentrati.* Ital. Agric., 1939.

ristretto l'uso dei concimi organici e naturali — ad un arricchimento e ad una integrazione dei concimi sintetici.

Si potrà tuttavia obbiettare — ed è stato obbiettato — che un problema dei microelementi, così urgente per certi terreni naturali da poco riscattati a coltura come in America, non riveste seria importanza per i terreni europei da mille e mille anni coltivati e, in particolar modo, per i terreni italiani. Contro tale affermazione stanno però segnalazioni numerose le quali denunciano non solo la sensibilità dei molti terreni europei ai microelementi, ma addirittura indicano come anche in Europa si abbiano malattie da carenza interessanti non poche colture. Del resto è in Europa, come già si è detto, che fu studiato per la prima volta il « mal del cuore » della barbabietola dovuto a mancanza di boro; come è in Europa che Hudig trovò nella mancanza di rame la causa determinante la « reclamation disease » e, nella mancanza di manganese, la causa del « grey speeck » dei cereali (50), mentre è di oggi il reperire continuo di malattie legate a difetto di boro, di zinco (51) e di altri elementi.

Del resto la nozione dell'utile intervento dei microelementi nella nutrizione vegetale è nozione che è divenuta quasi comune tanto che, avvertendo questa sorgente esigenza degli agricoltori, l'industria già prepara, oggi, complessi oligodinamici in tal modo avviando il problema verso la sua pratica soluzione.

Piuttosto, se un problema di interesse pratico ancora esiste, esso riguarda gli aspetti patologici della questione ed è rappresentato dalla difficoltà, salvo qualche caso, del rilevamento diagnostico dato che non sempre i sintomi esterni, nonostante gli sforzi descrittivi di Wallace (52) sono sufficientemente discriminatori e non sempre particolari tecniche, pure proposte, sono facilmente applicabili (53).

Non voglio, Signori, appesantire oltre questa già lunga Relazione. Tuttavia non posso passare sotto silenzio, pur senza adden-

---

(50) Hudig J. e Meyer C.: De ontinningsziekte en haar bestrijding. (1925 e 1926).

(51) Mulder D.: *Zinc deficiency of fruit trees in Europe.* In Trace Elements in Plant Physiology. Waltham, Mass. U.S.A. (1950).

(52) Wallace T.: *The application of the method of visual diagnosis to trace element problems in plants.* In Trace elements etc.

(53) Roach W.A.: *Diagnosis of mineral deficiencies and excesses by systematic leaf injection and analysis.* Rep. E. Malling Res. Stat.. 51 (1940).

trarmici analiticamente, un altro aspetto del problema. Tale è rappresentato dal fatto, comunque di minore importanza pratica, che i microelementi dei quali abbiamo or ora affermata l'indispensabilità agiscono, oltrepassato un certo livello, in senso negativo. La questione, d'altronde, riguarda anche gli elementi macronutritivi — conoscendosi danni da eccesso di azoto, fosforo, potassio, ecc. — senonchè, nel caso che ci interessa, i danni sono più manifesti mentre il passaggio dalla dose utile alla dose dannosa è, spesse volte, compreso entro limiti particolarmente ristretti.

Vi sarebbero, poi, altre questioni particolari. Quella, ad es., relativa alla influenza che i microelementi esercitano sullo stato di resistenza delle piante a malattie di ordine parassitario. Già in altra sede ho fatto cenno a questo problema che io ravviso di un certo interesse, ad es., nei riguardi delle malattie da virus così difficilmente dominabili. Dissi allora che, conoscendo la stessa dipendenza biochimica che lega il principio infettivo alla cellula ospite, accettando l'idea che il fattore nutrizionale modifichi l'ambiente metabolico intracellulare è possibile ammettere che la moltiplicazione di questi « quid » infettivi risulti in qualche modo influenzata.

Finalmente, la stessa circostanza che tale Relazione sia svolta in un Congresso di Industrie Agrarie interessate allo studio di problemi riguardanti, in gran parte, l'alimentazione, mi suggerisce di sottolineare l'importanza che gli elementi oligodinamici hanno nei riguardi, appunto, della alimentazione umana ed animale. E' un'importanza diretta ed indiretta: diretta, in quanto gli animali traggono il loro fabbisogno in elementi micronutritivi dai vegetali; indiretta, in quanto gli stessi elementi micronutritivi incidono sul valore nutritivo degli alimenti incluso il carico vitaminico. Questo è un lato, del complesso problema, di particolare importanza nei riguardi della alimentazione di tutti i popoli e in special modo dei popoli la cui produzione nazionale a stento copre i fabbisogni energetici della popolazione.

Istituto di Patologia Vegetale e Microbiologia Agraria e Tecnica. Università di Pisa.